

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.161124

朱敏, 石云翔, 孙志友, 王兴龙, 张 颀, 孔凡磊, 袁继超. 秸秆还田与旋耕对川中土壤物理性状及玉米机播质量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(7): 1025–1033

Zhu M, Shi Y X, Sun Z Y, Wang X L, Zhang D, Kong F L, Yuan J C. Effect of straw return and rotary tillage on soil physical properties and mechanical sowing quality of maize in Central Sichuan[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(7): 1025–1033

秸秆还田与旋耕对川中土壤物理性状及 玉米机播质量的影响*

朱 敏¹, 石云翔², 孙志友², 王兴龙¹, 张 颀¹, 孔凡磊^{1**}, 袁继超¹

(1. 四川农业大学农学院 温江 611130; 2. 北京顺鑫农科种业科技有限公司 北京 100097)

摘 要: 为明确川中丘陵地区紫土小麦-玉米两熟种植模式下机播玉米生产适宜的秸秆还田方式与耕作方式, 改善土壤的瘠薄、黏性过大等问题, 提高耕层土壤的播种条件、播种质量, 达到作物高产的目的, 设置秸秆还田旋耕(RTS)、秸秆还田免耕(NTS)、秸秆不还田旋耕(RT)、秸秆不还田免耕(NT)4 个处理, 研究麦秸还田与旋耕对川中丘陵区紫色黏土物理性状及机播夏玉米播种质量的影响。结果表明: 与秸秆不还田相比, 麦秸还田显著增加了拔节期 0~10 cm 土层土壤毛管孔隙度和免耕处理 0~10 cm 全生育时期土壤含水量, 显著降低出苗率、播种均匀度和幼苗整齐度等指标。与免耕相比, 旋耕处理降低了 0~10 cm 土壤容重、含水量, 增加了毛管孔隙度, 出苗率提高 9.9%, 幼苗株高、茎粗、叶面积和干重显著提高。麦秸还田条件下, 旋耕处理较免耕处理 0~10 cm 土壤容重降低 2.0%~12.1%, 出苗率、播种均匀度、每穴苗数、幼苗整齐度显著提高, 其中出苗率增加 17.9%。玉米出苗率与 0~10 cm 土壤含水量呈显著正相关, 播种均匀度与幼苗整齐度均与 0~10 cm 土壤容重呈显著负相关。可见, 麦秸还田下旋耕处理改善了土壤结构, 增加了土壤含水量, 更有利于川中丘陵地区小麦-夏玉米种植模式机播玉米质量和幼苗素质的提高。

关键词: 机播玉米; 秸秆还田; 播种均匀度; 播种质量; 幼苗素质; 幼苗整齐度; 土壤物理性状

中图分类号: S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2017)07-1025-09

Effect of straw return and rotary tillage on soil physical properties and mechanical sowing quality of maize in Central Sichuan*

ZHU Min¹, SHI Yunxiang², SUN Zhiyou², WANG Xinglong¹, ZHANG Di¹, KONG Fanlei^{1**}, YUAN Jichao¹

(1. College of Agriculture, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130, China; 2. Beijing Shunxin Agricultural Seed Technology Co., Ltd, Beijing 100097, China)

Abstract: With continuous development of agricultural science and technology and improvement of ecological and environmental awareness in China, rational use of crop straw has become an efficient and sustainable agricultural practice. With the

* 国家重点研发计划项目(2016YFD0300307)、公益性行业科研专项(20150312705)、四川省科技支撑计划(2014NZ0040)和四川省玉米产业技术体系岗位专家项目资助

** 通讯作者: 孔凡磊, 研究方向为农作制度与作物简化高效栽培理论与技术。E-mail: kflstar@163.com

朱敏, 主要从事作物高产优质高效栽培理论与技术研究。E-mail: 781516346@qq.com

收稿日期: 2016-12-11 接受日期: 2017-03-27

* This work was supported by the National Key Research Project of China (2016YFD0300307), the Special Industry Research in Public Welfare (20150312705), the Science and Technology Support Plan of Sichuan Province (2014NZ0040) and the Corn Industry Technology System of Post Project of Sichuan Province.

** Corresponding author, E-mail: kflstar@163.com

Received Dec. 11, 2016; accepted Mar. 27, 2017

rapid development of winter wheat-summer maize rotation system, concerns have grown about the processing of soil barrenness, wheat straw waste and other cultivation issues. Irrespectively, researches targeting purple clay soils have been limited. Therefore, an experiment was conducted to determine a suitable straw return and tillage method of mechanically sowed maize under wheat-maize double-cropping system in purple soils in hilly areas in Central Sichuan. The study also investigated the problems of soil fertility and viscosity, sowing conditions and plough layer quality for high yields. The experiment consisted of four treatments — rotary tillage with straw return (RTS), none-tillage with straw return (NTS), rotary tillage without straw return (RT) and none-tillage (NT). The aims of the experiment were to study the effects of tillage patterns with wheat straw return on physical properties of purple clay soils, and on quality of mechanically sowed summer maize in hilly areas in Central Sichuan. The results showed that compared with RT, RTS significantly increased capillary porosity in the 0–10 cm soil layer at elongation stage, increased water content in the 0–10 cm soil layer under no-tillage treatment for the entire growth period, and significantly reduced the rate of emergence, and uniformity of mechanical sowing and seedling quality of maize. Compared with NTS, RT reduced soil bulk density and water content in the 0–10 cm layer, but increased capillary porosity, emergence rate, seedling height, stem diameter, leaf area and dry mass of maize. Under wheat straw return condition, rotary tillage reduced soil bulk density at the 0–10 cm layer by 2.0%–12.1% as compared to no-tillage, significantly improved emergence rate (by 17.9%), plants per hill and uniformity of mechanical sowing and seedling uniformity of maize. Emergence rate of maize was significantly positively correlated with soil water content of the 0–10 cm layer. Both mechanical sowing uniformity and seedlings uniformity were significantly negatively correlated with soil bulk density of the 0–10 cm layer. It was thus clear that rotary tillage with straw return improved soil structure, increased soil water content, benefited the quality of mechanical sowing and quality of seedlings of maize under winter wheat-summer maize cropping pattern in hilly areas in Central Sichuan, China.

Keywords: Mechanically sowed summer maize; Straw return; Mechanical sowing uniformity; Sowing quality; Seedling quality; Seedlings uniformity; Soil physical properties

土壤耕作方式的变化可改变土壤状况,影响作物播种质量和苗期生长,采用合理的耕作方式可以改善土壤结构,提高作物的播种质量^[1],不合理的耕作方式则会降低土壤质量。小麦(*Triticum aestivum*)-玉米(*Zea mays*)两熟种植模式下,合理的耕作方式既可以消化小麦残留秸秆起到蓄水保墒^[2-6]、调节土壤温度和改善土壤水分状况^[4-7]的作用,同时通过改变土壤的物理性状^[8],改善了耕层土壤的播种条件,提高播种质量,达到提高作物产量的目的^[9]。研究表明,耕作方式对小麦-玉米两熟种植模式下后茬作物玉米的机播质量具有重要影响^[10-12]。秸秆还田也能降低土壤紧实度,配合不同耕作方式可导致播种质量的不同^[13]。Yavuzcan 等^[14-16]研究表明,地表残留植株多,免耕土壤紧实,机播后种子覆土浅,播种质量较差,若配合旋耕,土壤疏松,利于开沟器和播种器通过,出苗率与播种均匀度较好。高英波等^[12]研究发现秸秆还田使夏玉米生育前期的株高增加,茎秆变细,叶片变长。随着生育进程推进,夏玉米生长加快,株高、茎粗、叶面积指数和单株生物量增加,生长优势明显。川中丘陵地区雨养农业区常年以传统耕作方式对土壤进行旋耕,作物秸秆大量移出后导致表土暴露和土壤结构被破坏^[17]。而夏玉米机播质量受土壤物理性状的影响,是制约玉米产量和机播方式推广应用的关键因素。在川中丘陵地区

前期农业生产中因为土地地块小,又以套作为主,并且土壤瘠薄,秸秆还田的利用程度低,经常被随意焚烧。随着现代农业的发展,川中丘陵旱地地区的种粮大户越来越多,冬小麦-夏玉米种植模式的快速发展,土壤瘠薄、麦秸的处理等问题急需被解决。前人研究多侧重于麦茬处理方式对玉米生长发育和土壤化学性质的影响,而关于机播玉米土壤物理性状、播种质量及幼苗素质相关性研究较少,且针对川中丘陵紫色黏土的相关研究鲜见报道。本试验主要以土壤物理性状的改变为基础,针对物理性状的改变对机播玉米播种和前期生长、产量的影响,通过田间试验,研究麦秸还田下耕作方式对川中丘陵地区紫色黏土土壤物理性状和机播玉米播种质量、幼苗素质的影响,以期对川中丘陵区机播夏玉米提高播种质量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于 2015 年和 2016 年在四川省德阳市中江县合兴乡新建村(104°63'E, 30°95'N)进行,该地属亚热带季风气候,年降水量 882.5 mm,年均气温 16.7 °C。试验田播种前 0~10 cm 土壤容重为 1.51 g·cm⁻³,土壤毛管孔隙度 32%,含水量 27%; 10~20 cm 土壤容重为 1.54 g·cm⁻³,土壤毛管孔隙度 30%,含水量

19%。

1.2 试验设计

试验采用两因素随机区组试验设计, 设置秸秆还田旋耕(RTS)、秸秆还田免耕(NTS)、秸秆不还田旋耕(RT)、秸秆不还田免耕(NT)4 个处理。秸秆还田旋耕(RTS): 将小麦秸秆与土壤一起旋耕, 秸秆拌入土壤中。秸秆还田免耕(NTS): 小麦秸秆盖留于地表, 不做任何耕作处理直接播种。秸秆不还田旋耕(RT): 小麦秸秆人工割除, 进行旋耕。秸秆不还田免耕(NT): 小麦秸秆人工割除, 直接播种。

供试玉米品种为‘正红 505’(四川农业大学正红种业有限责任公司), 前茬小麦品种为‘绵麦 367’(绵阳市农业科学研究所)。小麦 5 月 10 日收获, 秸秆还田量为 $6\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。5 月 13 日进行秸秆还田和耕作方式处理, 旋耕深度为 15 cm。5 月 15 日采用机播方式播种玉米, 每穴 2~3 粒种子, 间苗时每穴留单株, 种植密度为 $6.5\times 10^4\ \text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。宽窄行种植, 宽行行距 90 cm, 窄行行距 40 cm, 穴距 23 cm。小区面积为 $156\ \text{m}^2$ ($3.9\ \text{m}\times 40\ \text{m}$), 每小区种植 6 行, 3 次重复。试验施肥为 $\text{N}\ 225\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (尿素, 46%), $\text{P}_2\text{O}_5\ 60\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (过磷酸钙, 12%), $\text{K}_2\text{O}\ 90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (氯化钾, 60%), 氮磷钾肥均作底肥一次性施入。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤物理性状

土壤毛管孔隙度、容重测定采用环刀法^[18], 含水量采用烘干法^[18]。利用五点取样法, 在玉米拔节期、大口期、吐丝期、成熟期从田块四角两条对角线的交点, 以及交点到四个角的中间点等 5 点取样, 测定玉米窄行 0~10 cm、10~20 cm 土层土壤容重、含水量和毛管孔隙度。每个处理 3 次重复。

1.3.2 播种质量

玉米出苗后, 利用五点取样法, 每个处理选 5 个点, 每点调查 4 m 行长的玉米出苗率、露种率、穴数和每穴苗数, 穴与穴之间距离超过 30 cm 计算为一个断垄数, 超过 60 cm 为两个断垄数, 以此类推。每穴苗数做标准偏差, 计算播种均匀度。

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (1)$$

式中: S 为标准偏差, \bar{x} 为样本平均值, x_i 为各样本值, N 为样本容量(样本个数)。

1.3.3 幼苗素质

幼苗三展叶时期从各小区取 5 株能代表群体长势的幼苗植株, 测定其株高、茎粗、叶面积。分根、

茎、叶称鲜重, 放入烘箱 $105\ ^\circ\text{C}$ 杀青 30 min, 在 $80\ ^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重称重。叶面积采用长宽系数法测定。

1.3.4 幼苗整齐度

在玉米第 4 叶展期调查生理株高, 每个处理随机选取 4 m 行长, 每个样点植株全部测定。整齐度采用变异系数的倒数($1/cv$)法, 表达式为:

$$cv = \frac{S}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2 / n}{N - 1}} / \bar{x} \quad (2)$$

式中: cv 为变异系数, S 为标准差, \bar{x} 为样本平均值, x 为各个样本值, n 为样本容量(样本个数)。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 和 DPS 7.05 数据处理系统进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田与旋耕对土壤物理性状的影响

2.1.1 土壤容重

表 1 结果表明, 2015 年、2016 年旋耕处理显著降低了苗期土壤容重, 2016 年旋耕和秸秆还田处理对土壤容重的影响较 2015 年显著。2015 年旋耕秸秆还田降低 0~10 cm 土层和 10~20 cm 土层的土壤容重。相同秸秆还田条件下, 旋耕处理各时期 0~10 cm 土层和 10~20 cm 土层土壤容重均显著低于免耕处理。与免耕处理相比, 旋耕处理整个生育期容重下降幅度为 3.2%~16.4%。2016 年秸秆还田条件下, 旋耕与免耕相比 0~10 cm 土层土壤容重下降 2.0%~12.1%, 10~20 cm 土层土壤容重下降 3.1%~6.6%。土壤容重受麦秸还田的影响显著, 两种耕作方式下土壤容重表现为秸秆不还田免耕>秸秆还田旋耕。总体上看, 0~10 cm 土层和 10~20 cm 土层拔节期土壤容重表现为 $\text{NT} > \text{NTS} > \text{RT} > \text{RTS}$, 秸秆还田下旋耕处理土壤容重为最低。

2.1.2 土壤毛管孔隙度

如表 2 所示, 2015 年和 2016 年土壤毛管孔隙度各处理变化趋势基本一致, 耕作方式对土壤毛管孔隙度影响显著, 各时期旋耕处理均高于免耕处理, 旋耕处理土壤毛管孔隙度为 35.0%~44.2%, 免耕处理为 31.2%~43.2%, 旋耕较免耕增加 0.7%~13.2%, 二者之间差异达显著水平。2015 年麦秸还田对土壤毛管孔隙度影响不明显。2016 年, 旋耕条件下, 秸秆还田处理土壤毛管孔隙度增加 2.1%~24.3%; 免耕条件下, 秸秆还田处理土壤毛管孔隙度增加 1.2%~16.8%, 二者间差异显著。

表 1 2015 年和 2016 年不同处理对玉米不同生育期不同土层土壤容重的影响

Table 1 Effect of different treatments on soil bulk density of different layers at different growth stages of maize in 2015 and 2016 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$

年份 Year	处理 Treatment	0~10 cm				10~20 cm			
		拔节期 Jointing stage	大口期 Huge bell bottom stage	吐丝期 Tasseling stage	成熟期 Harvesting stage	拔节期 Jointing stage	大口期 Huge bell bottom stage	吐丝期 Tasseling stage	成熟期 Harvesting stage
2015	RTS	1.26±0.03c	1.33±0.33c	1.53±0.04b	1.46±0.10b	1.40±0.07ab	1.45±0.11b	1.67±0.09b	1.48±0.08b
	NTS	1.53±0.03b	1.47±0.02b	1.62±0.02ab	1.58±0.04a	1.53±0.16a	1.50±0.05a	1.71±0.11a	1.59±0.03a
	RT	1.33±0.02bc	1.41±0.03bc	1.53±0.03b	1.43±0.05b	1.38±0.13b	1.46±0.06ab	1.68±0.09ab	1.49±0.04a
	NT	1.57±0.02a	1.60±0.04a	1.60±0.08a	1.61±0.01a	1.43±0.10ab	1.53±0.06a	1.75±0.05a	1.60±1.11a
2016	RTS	1.16±0.03d	1.21±0.06b	1.41±0.06b	1.27±0.02b	1.54±0.00b	1.42±0.07b	1.48±0.04b	1.27±0.02b
	NTS	1.32±0.12b	1.34±0.02a	1.44±0.18a	1.36±0.07a	1.59±0.01a	1.52±0.02a	1.57±0.05ab	1.36±0.14a
	RT	1.23±0.02c	1.22±0.13b	1.43±0.07b	1.39±0.01ab	1.58±0.02b	1.47±0.05ab	1.54±0.03ab	1.39±0.09a
	NT	1.40±0.05a	1.36±0.11a	1.63±0.01a	1.46±0.04a	1.59±0.16a	1.53±0a	1.59±0.03a	1.46±0.04a

RTS 为秸秆还田旋耕, RT 为秸秆不还田旋耕, NTS 为秸秆还田免耕, NT 为秸秆不还田免耕。不同小写字母表示同一年份不同处理在 0.05 水平上差异显著。RTS: rotary tillage with straw return; RT: rotary tillage without straw return; NTS: no-tillage with straw return; NT: no-tillage without straw return. Different lowercase letters denote significant differences among different treatments at 5% level in the same year.

表 2 2015 年和 2016 年不同处理对玉米不同生育期不同土层土壤毛管孔隙度的影响

Table 2 Effect of different treatments on soil porosity of different layer at different growth stages of maize in 2015 and 2016 %

年份 Year	处理 Treatment	0~10 cm				10~20 cm			
		拔节期 Jointing stage	大口期 Huge bell bottom period	吐丝期 Tasseling stage	成熟期 Harvesting stage	拔节期 Jointing stage	大口期 Huge bell bottom period	吐丝期 Tasseling stage	成熟期 Harvesting stage
2015	RTS	36.23±0.66b	35.23±0.31a	39.30±1.05a	35.74±1.65a	39.37±1.44a	36.34±4.73a	35.50±5.97a	36.79±1.39a
	NTS	34.40±0.80ab	31.27±0.85ab	38.50±1.21a	33.10±3.74ab	37.47±3.91a	34.26±1.73a	32.23±6.14a	35.48±0.88a
	RT	34.00±0.37a	34.97±1.82a	38.27±2.04a	34.27±0.66a	39.50±2.62a	35.03±0.47a	33.67±4.64a	35.38±2.10a
	NT	33.31±0.75b	31.10±0.24ab	38.53±1.78a	30.60±9.08b	34.60±1.66a	31.30±1.06a	31.57±2.57a	35.19±1.77a
2016	RTS	41.37±0.35a	41.04±1.41a	44.26±0.36a	43.55±0.87a	44.22±1.69a	38.63±0.23a	43.11±4.19a	48.97±0.72a
	NTS	38.41±1.13b	37.70±1.36c	40.31±0.14b	39.78±0.64b	37.90±6.13a	37.09±0.60ab	37.84±0.77b	42.05±4.48b
	RT	40.52±0.34a	39.36±1.30ac	41.85±2.35ab	40.42±0.58b	41.05±5.46a	36.19±0.45b	41.32±2.96ab	39.39±0.31bc
	NT	34.34±0.21c	36.41±0.32bc	39.85±2.71b	38.45±1.18a	36.57±3.05a	35.63±1.47b	37.03±0.52b	36.01±2.75c

RTS 为秸秆还田旋耕, RT 为秸秆不还田旋耕, NTS 为秸秆还田免耕, NT 为秸秆不还田免耕。不同小写字母表示同一年份不同处理在 0.05 水平上差异显著。RTS: rotary tillage with straw return; RT: rotary tillage without straw return; NTS: no-tillage with straw return; NT: no-tillage without straw return. Different lowercase letters denote significant differences among different treatments at 5% level in the same year.

2.1.3 土壤含水率

作物对土壤水分的利用受土壤质量和作物生长状况的共同影响。从表 3 可以看出, 相同秸秆处理方式下, 免耕处理 0~10 cm 土壤含水率均高于旋耕处理, 2015 年拔节期、大口期、吐丝期和成熟期免耕处理土壤水分较旋耕平均分别增加 26.4%、3.4%、3.7%、8.5%, 2016 年拔节期、大口期、吐丝期和成熟期免耕处理土壤水分较旋耕平均分别增加 16.1%、7.5%、0.4%、0.2%。这是由于免耕减少了对土层的扰动, 有利于抑制土面的无效蒸发, 提高表层水分含量。免耕条件下, 0~10 cm 土壤含水率秸秆还田处

理均高于不还田处理。10~20 cm 土壤水分在玉米各时期均差异不显著。总体来看, 免耕秸秆还田处理 0~10 cm 土壤含水率最高。

2.2 秸秆还田与旋耕对机播夏玉米播种质量的影响

由表 4 可见, 耕作方式对机播夏玉米播种质量影响显著。与免耕处理相比, 旋耕处理显著提高了机播玉米播种质量和玉米出苗率, 旋耕处理玉米出苗率较免耕 2015 年、2016 年分别提高 26.7%和 9.9%。从播种质量看, 旋耕处理露种率、断垄数、播种均匀度均较免耕处理低, 其中露种率旋耕显著低于免耕处理。秸秆还田降低了玉米出苗率, 免耕

表 3 2015 年和 2016 年不同处理对玉米不同生育期不同土层土壤含水量的影响

Table 3 Effect of different treatments on soil moisture of different layer at different growth stages of maize in 2015 and 2016 %

年份 Year	处理 Treatment	0~10 cm				10~20 cm			
		拔节期 Jointing stage	大口期 Huge bell bottom stage	吐丝期 Tasseling stage	成熟期 Harvesting stage	拔节期 Jointing stage	大口期 Huge bell bottom stage	吐丝期 Tasseling stage	成熟期 Harvesting stage
2015	RTS	17.40±2.26b	30.53±0.99a	15.55±1.95a	33.07±1.02ab	29.20±0.17a	31.97±1.13a	23.41±1.05a	33.09±0.59a
	NTS	24.05±0.55a	31.48±1.63a	16.67±3.24a	34.93±0.68a	27.47±0.49a	32.29±1.03a	21.02±5.28a	33.57±0.71a
	RT	19.07±0.81ab	25.35±0.58b	16.65±1.93a	26.40±0.36c	30.57±3.93a	33.33±0.36a	21.52±2.11a	33.51±1.92a
	NT	22.03±0.52ab	26.32±2.32b	16.61±4.28a	29.58±1.19bc	29.20±3.21a	30.40±3.46a	21.18±3.07a	33.71±0.17a
2016	RTS	22.81±1.99ab	32.33±0.22b	34.41±0.61a	31.37±1.95a	32.48±0.34a	34.51±0.55a	30.32±0.53b	33.27±1.52a
	NTS	25.96±1.48a	34.69±0.21a	35.37±1.71a	32.02±0.46a	37.52±0.33a	37.04±3.13a	34.40±1.31a	34.99±1.01a
	RT	18.32±2.07b	29.26±0.70c	31.39±0.36b	25.73±1.58b	33.04±5.43a	34.57±0.91a	33.41±1.79a	33.49±0.41a
	NT	21.80±4.52ab	31.52±1.65b	30.71±0.83b	25.20±1.07b	34.91±3.89a	32.88±2.04a	34.35±1.41a	34.55±0.39a

RTS 为秸秆还田旋耕, RT 为秸秆不还田旋耕, NTS 为秸秆还田免耕, NT 为秸秆不还田免耕。不同小写字母表示同一年份不同处理在 0.05 水平上差异显著。RTS: rotary tillage with straw return; RT: rotary tillage without straw return; NTS: no-tillage with straw return; NT: no-tillage without straw return. Different lowercase letters denote significant differences among different treatments at 5% level in the same year.

表 4 2015 年和 2016 年不同处理下玉米播种质量的比较

Table 4 Effect of different treatments on mechanical sowing quality of maize in 2015 and 2016

年份 Year	处理 Treatment	出苗率 Emergence rate (%)	露种率 Dew seed rate (%)	断垄率 Deficiency of ridge (%)	缺窝率 Lack of nest (%)	每穴苗数 Plants per hill	播种均匀度 Mechanical sowing uniformity
2015	RTS	93±8.01a	3±2.63c	7.5±7.50b	13.0±7.5ab	2.11±0.32a	0.88±0.01b
	NTS	62±16.51b	34±19.58a	30.0±7.50a	24.1±7.50a	1.69±0.17a	0.99±0.01a
	RT	97±0.20a	0±0c	5.0±4.33b	1.9±4.33b	1.83±0.08a	0.85±0.01b
	NT	88±7.01a	11±1.41b	20.0±4.33a	22.0±4.33a	1.70±0.28a	0.96±0.01a
2016	RTS	92±4.71a	3±2.90a	15.0±7.50bc	14.8±6.42b	1.77±0.23a	0.53±0.00b
	NTS	78±7.10c	14±3.75a	27.5±4.33a	20.1±3.21a	1.50±0.07a	0.59±0.00a
	RT	86±4.40b	0±0c	5.0±2.35c	12.9±6.42b	1.74±0.22a	0.51±0.01b
	NT	84±4.16b	7±3.57b	25.0±4.33ab	27.8±5.56a	1.67±0.18a	0.55±0.05b

RTS 为秸秆还田旋耕, RT 为秸秆不还田旋耕, NTS 为秸秆还田免耕, NT 为秸秆不还田免耕。不同小写字母表示同一年份不同处理在 0.05 水平上差异显著。RTS: rotary tillage with straw return; RT: rotary tillage without straw return; NTS: no-tillage with straw return; NT: no-tillage without straw return. Different lowercase letters denote significant differences among different treatments at 5% level in the same year.

秸秆还田出苗率为 62.0%、78.0%, 显著低于秸秆不还田。同时, 秸秆还田提高了露种率、断垄数和播种均匀度(播种均匀度越小, 表示播种越均匀)。与秸秆不还田相比, 还田处理的播种均匀度 2015、2016 年分别增加 3.3%、5.7%。总体上看, 旋耕处理有利于机播玉米播种质量和出苗率的提高, 秸秆还田降低了玉米播种质量和出苗率。

2.3 秸秆还田与旋耕对夏玉米幼苗素质的影响

由表 5 可见, 耕作方式对机播夏玉米幼苗素质影响显著。与免耕处理相比, 旋耕处理显著提高了玉米幼苗素质, 其中 2015 年幼苗长度、叶面积、根长、整齐度分别提高 38.9%、76.8%、19.3%、70.8%, 茎叶干重和根干重分别提高 116.3%、47.1%; 2016 年幼苗长度、叶面积、根长、整齐度分别提高 24.6%、39.1%、1.9%、132.8%, 茎叶干重和根干重分别提高

60.9%、0.5%。相同耕作方式下, 秸秆不还田处理幼苗长度、叶面积、茎叶干物质均高于秸秆还田。苗期根冠比表现为 NTS>RTS>NT>RT, 且处理间差异显著。说明旋耕处理有利于提高夏玉米苗期整体素质, 保证苗全、苗齐, 而秸秆还田降低了玉米苗期素质和幼苗整齐度。

2.4 夏玉米播种质量、幼苗素质影响因素分析

从表 6 可以看出, 夏玉米播种质量和幼苗素质与 0~10 cm 土壤物理性状存在显著的相关关系。其中出苗率与土壤含水量呈显著正相关; 露种率与土壤含水量具有极显著负相关性; 播种均匀度与容重呈极显著负相关, 与毛管孔隙度呈显著正相关; 幼苗整齐度与土壤容重具有极显著负相关性。说明土壤物理性状对机械播种均匀度、幼苗整齐度有显著影响, 土壤含水量影响出苗率以及露种率。

表 5 2015 年和 2016 年不同处理下夏玉米幼苗素质的比较

Table 5 Effect of different treatments on seedling traits of maize in 2015 and 2016

年份 Year	处理 Treatment	苗长 Seedling length (cm)	幼苗整齐度 Seedlings uniformity	根长 Root length (cm)	叶面积 Leaf area (cm ²)	茎叶干重 Leaf and stem dry mass (g)	根干重 Root dry mass (g)
2015	RTS	35.26±2.21b	14.95±4.57b	21.30±1.96a	107.04±6.24b	0.43±0.01b	1.03±0.03a
	NTS	26.06±1.58d	11.46±5.97c	15.89±2.21b	55.66±45.12c	0.19±0.13c	0.68±0.05b
	RT	43.17±1.37a	18.25±3.37a	19.94±1.62ab	169.74±19.61a	0.63±0.06a	0.97±0.01ab
	NT	30.41±2.48c	7.98±3.46d	18.69±1.48ab	100.93±17.21b	0.30±0.02bc	0.68±0.01b
2016	RTS	49.18±5.58a	16.23±1.48b	18.92±0.10c	260.98±30.30c	5.67±0.45b	1.08±0.02a
	NTS	38.77±3.79b	10.65±1.10c	19.22±0.10a	142.43±21.36d	3.33±0.09d	1.08±0.01a
	RT	50.04±2.10a	22.23±2.52a	18.42±0.19b	486.60±19.60a	6.64±0.51a	1.07±0.07a
	NT	40.85±0.69b	5.87±1.18d	17.39±0.10d	395.07±78.03b	4.32±0.54c	1.06±0.05a

RTS 为秸秆还田旋耕, RT 为秸秆不还田旋耕, NTS 为秸秆还田免耕, NT 为秸秆不还田免耕。不同小写字母表示同一年份不同处理在 0.05 水平上差异显著。RTS: rotary tillage with straw return; RT: rotary tillage without straw return; NTS: no-tillage with straw return; NT: no-tillage without straw return. Different lowercase letters denote significant differences among different treatments at 5% level in the same year.

表 6 播种均匀度及幼苗素质与 0~10 cm 土壤物理性状的相关性(2016 年)

Table 6 Correlation of mechanical sowing uniformity and seedling quality with 0–10 cm soil physical properties in 2016

项目 Item	容重 Soil bulk density	毛管孔隙度 Soil porosity	土壤含水量 Soil moisture
出苗率 Emergence rate	-0.05	-0.04	0.57*
露种率 Dew seed rate	0.12	-0.11	-0.73**
播种均匀度 Mechanical sowing uniformity	-0.72**	0.56*	-0.34
苗长 Seedling length	-0.06	0.20	-0.48
茎叶干物质重 Leaf and stem dry mass	-0.04	0.09	-0.42
幼苗整齐度 Seedling uniformity	-0.70**	0.17	0.28

*和**分别表示相关性达显著水平($P<0.05$)和极显著水平($P<0.01$)。* and ** indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.5 秸秆还田与旋耕对玉米产量的影响

由表 7 可知, 秸秆还田与旋耕对玉米穗部性状和产量均有显著影响。秸秆还田处理显著提高了玉米穗长、穗粗、穗粒数、百粒重和产量, 与秸秆不还田处理相比 2015 年玉米秃尖长平均降低 0.2 cm, 穗长增加 1.2 cm, 穗粗增加 1.1 mm, 穗粒数增加 9.8%, 百粒重增加 11.9%, 最终产量增加 7.7%; 2016 年秃尖长平均降低 0.5 cm, 穗长增加 1.2 cm, 穗粗增加 4.1 mm, 穗粒数增加 6.1%, 百粒重增加 8.7%, 最终产量增加 4.2%。旋耕与免耕相比 2015 年秃尖长降低 0.1 cm, 穗长增加 0.7 cm, 穗粒数增加 2.3%, 百粒重增加 6.5%, 最终产量增加 2.8%; 2016 年秃尖长平均降低 0.3 cm, 穗长增加 0.6 cm, 穗粗增加 2.6 mm, 穗粒数增加 3.6%, 百粒重增加 2.2%, 最终产量增加 5.6%。总体上看, 旋耕秸秆还田处理明显提高了玉米产量。

表 7 2015 年和 2016 年不同处理下玉米产量及构成因素

Table 7 Effect of different treatments on grain yield and its components of maize in 2015 and 2016

年份 Year	处理 Treatment	穗长 Spike length (cm)	秃尖长 Bare top length (cm)	穗粗 Spike diameter (mm)	穗粒数 Grain number per spike	百粒重 100-kernel weight (g)	产量 Grain yield (kg·hm ⁻²)
2015	RTS	16.30±0.95a	1.33±0.41a	44.03±1.96a	571.17±1.40a	22.46±2.38b	5 538.11±832.55a
	NTS	15.44±0.94a	1.18±0.14a	44.41±0.58a	555.47±2.25ab	20.88±8.50ab	5 380.01±671.94a
	RT	15.75±0.49a	1.29±0.52a	42.17±2.17a	517.16±0.97b	19.87±4.00ab	5 137.33±70.05a
	NT	15.26±0.25a	1.66±0.18a	44.03±0.05a	508.82±0.92b	18.86±4.61a	5 002.76±126.63a
2016	RTS	20.13±0.69a	0.77±0.03c	61.65±3.04a	665.92±31.52a	22.06±1.43a	7 681.85±1 202.97a
	NTS	19.30±0.46ab	1.21±0.11b	57.56±0.98b	616.33±24.01b	21.80±0.74b	6 939.41±807.07b
	RT	19.02±0.43ab	1.10±0.07b	57.70±1.40b	610.32±47.35b	20.58±0.54b	7 357.35±978.60a
	NT	18.02±1.60b	1.87±0.32a	53.32±1.02c	598.71±47.68c	19.77±0.19c	6 679.01±758.29c

RTS 为秸秆还田旋耕, RT 为秸秆不还田旋耕, NTS 为秸秆还田免耕, NT 为秸秆不还田免耕。不同小写字母表示同一年份不同处理在 0.05 水平上差异显著。RTS: rotary tillage with straw return; RT: rotary tillage without straw return; NTS: no-tillage with straw return; NT: no-tillage without straw return. Different lowercase letters denote significant differences among different treatments at 5% level in the same year.

3 讨论

耕作方式对土壤物理性状影响显著, 进而影响作物的生长^[19-20]。本研究结果表明, 不同耕作方式对土壤容重、毛管孔隙度、土壤含水量的影响效果不同, 随着土层深度增加逐渐减弱。秸秆还田使土壤变的疏松, 前期对毛管孔隙度影响不大, 后期秸秆的腐熟显著降低土壤的入渗能力, 秸秆经粉碎氮化处理后, 较不还田处理显著增加土壤的稳定入渗率和累积入渗量^[21], 从而降低土壤容重、增加毛管孔隙度。旋耕秸秆还田土壤孔隙大, 导致前期土壤水分蒸发变大, 降低了土壤水分含量, 后期秸秆发挥蓄水保墒作用从而提高土壤含水量。免耕秸秆还田土壤水分含量高于不还田处理, 这主要是由于秸秆覆盖地表, 抑制了土壤水分蒸发。这与张丽等^[21]及吴婕等^[22-24]研究结果一致。旋耕有利于降低土壤容重和增加毛管孔隙度, 而免耕处理增加了土壤容重, 这主要是由于旋耕土壤经过扰动, 土壤疏松, 而免耕土壤未被扰动容重显著高于旋耕处理^[3]。总体来看, 秸秆还田与旋耕处理相互作用不仅能够有效改善土壤物理性状, 而且有利于减少水分蒸发、提高生育后期土壤含水率, 从而有利于满足夏玉米生长对水分的需求。这主要体现在 0~10 cm 的表层土壤中, 10~20 cm 土层表现不明显。

不同耕作方式下地表形态、气候条件及播种方式均会影响到作物的播种质量和幼苗均匀度。本试验从栽培角度研究了秸秆还田对机播夏玉米播种质量及前期生长的影响发现: 秸秆还田虽能起到蓄水保墒的作用, 但会对玉米出苗产生抑制^[25], 导致出苗率较低且株高整齐度较差。综合其幼苗素质、根冠比的各项指标和土壤物理性状分析发现, 旋耕处理土壤疏松, 利于开沟器和播种器通过, 播种质量较好, 且会使夏玉米生育前期株高增加, 叶片变长, 干物质增加^[26], 较免耕处理在播种质量和幼苗素质上有明显的优势。免耕土壤紧实, 前茬根系和地表植株残留多, 机播后种子覆土浅, 播种质量相对较差^[13]。秸秆还田配合旋耕的耕作方式, 能在最大程度上保证机械播种的播种质量, 一定程度上弥补秸秆还田对播种质量、幼苗素质造成的损失, 克服秸秆还田初期的缺点, 有利于提高玉米机播质量, 同时兼有更好的保护土壤、抑制土壤水分蒸发等生态效益。成熟期玉米产量表现为秸秆还田旋耕>秸秆不还田旋耕>秸秆还田免耕>秸秆不还田免耕, 旋耕处理产量均高于免耕处理, 旋耕的耕作措施提高了玉米机播的出苗率, 提高了有效穗数从而使处理产量

增加。可见, 通过农艺措施调节, 能减轻过量秸秆的负效应, 降低秸秆还田对下茬作物的不良影响, 从而提高农作物的产量和品质。

4 结论

麦秸还田能够降低土壤容重, 两年连续秸秆还田使 0~10 cm 土壤毛管孔隙度提高 5.6%, 免耕条件下秸秆还田较不还田土壤水分提高 8.0%~27.1%。麦秸还田条件下, 与免耕处理相比, 旋耕改善了土壤的物理性状, 土壤容重较免耕降低 2.0%~12.1%, 玉米出苗率提高 18.0%, 提高机播玉米播种质量和播种均匀度, 同时增加夏玉米幼苗株高、叶面积和单株干重, 显著提高幼苗素质。不还田条件下, 旋耕土壤容重较免耕降低 0.6%~14.0%, 土壤毛管孔隙度增加 1.6%~18.0%, 玉米出苗率提高 2.4%。与秸秆不还田免耕相比, 还田旋耕降低了玉米的秃尖长, 增加了玉米穗长、穗粗和百粒重, 并使产量增加 15.0%。旋耕秸秆还田处理能改善土壤物理性状, 提高土壤综合素质, 弥补了秸秆还田免耕处理在播种质量和幼苗素质方面的缺陷, 利于夏玉米后期的生长, 并提高产量。可见, 麦秸还田下旋耕处理更有利于川中丘陵区小麦-夏玉米种植模式机播玉米质量和幼苗素质的提高。

参考文献 References

- [1] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟流域为例[J]. 地理学报, 1999, 54(3): 241-246
Fu B J, Chen L D, Ma K M. The effect of land use change on the regional environment in the Yangjuangou catchment in the Loess Plateau of China[J]. Acta Geographica Sinica, 1999, 54(3): 241-246
- [2] Ji S N, Unger P W. Soil water accumulation under different precipitation, potential evaporation, and straw mulch conditions[J]. Soil Science Society of America Journal, 2001, 65(2): 442-448
- [3] 付国占, 李潮海, 王俊忠, 等. 残茬覆盖与耕作方式对土壤性状及夏玉米水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 52-56
Fu G Z, Li C H, Wang J Z, et al. Effects of stubble mulch and tillage managements on soil physical properties and water use efficiency of summer maize[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(1): 52-56
- [4] 赵亚丽, 薛志伟, 郭海斌, 等. 耕作方式与秸秆还田对冬小麦-夏玉米耗水特性和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(17): 3359-3371
Zhao Y L, Xue Z W, Guo H B, et al. Effects of tillage and

- straw returning on water consumption characteristics and water use efficiency in the winter wheat and summer maize rotation system[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(17): 3359–3371
- [5] 张建军, 王勇, 樊廷录, 等. 耕作方式与施肥对陇东旱塬冬小麦-春玉米轮作农田土壤理化性质及产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(4): 1001–1008
Zhang J J, Wang Y, Fan T L, et al. Effects of different tillage and fertilization modes on the soil physical and chemical properties and crop yield under winter wheat/spring corn rotation on dryland of East Gansu, Northwest China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(4): 1001–1008
- [6] 郑成岩, 崔世明, 王东, 等. 土壤耕作方式对小麦干物质生产和水分利用效率的影响[J]. *作物学报*, 2011, 37(8): 1432–1440
Zheng C Y, Cui S M, Wang D, et al. Effects of soil tillage practice on dry matter production and water use efficiency in wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(8): 1432–1440
- [7] 张延, 梁爱珍, 张晓平, 等. 不同耕作方式下土壤水分状况对土壤呼吸的初期影响[J]. *环境科学*, 2016, 37(3): 1106–1113
Zhang Y, Liang A Z, Zhang X P, et al. Priming effects of soil moisture on soil respiration under different tillage practices[J]. *Environmental Science*, 2016, 37(3): 1106–1113
- [8] 孙利军, 张仁陟, 黄高宝. 保护性耕作对黄土高原旱地地表土壤理化性状的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(6): 207–211
Sun L J, Zhang R Z, Huang G B. Effects of the conservation tillage on the physicochemical characteristics of soil surface in the semi-arid areas of the Loess Plateau[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2007, 25(6): 207–211
- [9] 丁昆仑, Hann M J. 耕作措施对土壤特性及作物产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2000, 16(3): 28
Ding K L, Hann M J. Effects of soil management on soil properties and crop yield[J]. *Transactions of the CSAE*, 2000, 16(3): 28
- [10] 杨春收, 赵霞, 李潮海, 等. 麦茬处理方式对机播夏玉米播种质量及其前期生长的影响[J]. *河南农业科学*, 2009, (1): 25–27
Yang C S, Zhao X, Li C H, et al. Effects of different treatments of winter wheat residues on planting quality and early-stage growth of summer maize (*Zea mays* L.)[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2009, (1): 25–27
- [11] 李潮海, 赵霞, 刘天学, 等. 麦茬处理方式对机播夏玉米的生态生理效应[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(1): 162–166
Li C H, Zhao X, Liu T X, et al. Effects of different treatments of winter wheat residues on eco-physiological responses of mechanized sowing summer maize (*Zea mays* L.)[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(1): 162–166
- [12] 高英波, 陶洪斌, 朱金城, 等. 麦茬高度对机播夏玉米苗期生长及水分利用的影响[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(19): 3803–3810
Gao Y B, Tao H B, Zhu J C, et al. Effects of wheat stubble height on growth and water use efficiency of mechanized sowing summer maize[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(19): 3803–3810
- [13] 李金刚. 耕作措施对四川丘陵机播小麦群体和土壤保墒的影响及其应用效果综合评价[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014
Li J G. Effects of tillage measure on the population of mechanical sowing wheat and soil moisture-conserving, & evaluate its application effect with comprehensive evaluation, in Sichuan Hilly Areas[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2014
- [14] Yavuzcan H G. Wheel traffic impact on soil conditions as influenced by tillage system in Central Anatolia[J]. *Soil and Tillage Research*, 2000, 54(3/4): 129–138
- [15] McGarry D, Bridge B J, Radford B J. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid subtropics[J]. *Soil and Tillage Research*, 2000, 53(2): 105–115
- [16] Ozpinar S, Cay A. Effect of different tillage systems on the quality and crop productivity of a clay-loam soil in semi-arid north-western Turkey[J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 88(1/2): 95–106
- [17] Mielke L N, Willhelm W W, Richards K A, et al. Soil physical characteristics of reduced tillage in a wheat-fallow system[J]. *Transactions of the ASAE*, 1984, 27(6): 1724–1728
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1980
Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1980
- [19] Blanco-Canqui H, Lal R. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till[J]. *Soil and Tillage Research*, 2007, 95(1/2): 240–254
- [20] 房秀荣, 吴子一, 高燕春. 长期秸秆还田改土培肥效应的研究[J]. *农业工程学报*, 2002, 18(2): 49–52
Lao X R, Wu Z Y, Gao Y C. Effect of long-term returning straw to soil on soil fertility[J]. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(2): 49–52
- [21] 张丽, 张中东, 郭正宇, 等. 深松耕作和秸秆还田对农田土壤物理特性的影响[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(1): 102–106
Zhang L, Zhang Z D, Guo Z Y, et al. Effects of subsoiling tillage and straw returning to field on soil physical properties[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2015, 35(1): 102–106
- [22] 王增丽. 秸秆不同处理还田方式对土壤理化特性和作物生长效应的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012
Wang Z L. Effects of different straw incorporation manners on soil physical and chemical properties and crop growth[D]. Yangling:

North West Agriculture and Forestry University, 2012

- [23] 吴婕, 朱钟麟, 郑家国, 等. 秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响[J]. 西南农业学报, 2006, 19(2): 192–195
Wu J, Zhu Z L, Zheng J G, et al. Influences of straw mulching treatment on soil physical and chemical properties and crop yields[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2006, 19(2): 192–195
- [24] 宫亮. 秸秆还田对棕壤理化性质和玉米生长发育的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014: 36
Gong L. Effects of straw returning on physical & chemical characteristics of brown soil and growth of corn[D]. Beijing:

Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014: 36

- [25] 范颖丹. 不同覆盖和秸秆还田方式对旱地小麦土壤水分的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013
Fan Y D. Effects of different mulching and straw returning methods on soil moisture of wheat in rainfed conditions[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2013
- [26] 宫亮, 孙文涛, 包红静, 等. 不同耕作方式对土壤水分及玉米生长发育的影响[J]. 玉米科学, 2011, 19(3): 118–120
Gong L, Sun W T, Bao H J, et al. Effects of different tillage managements on soil moisture and growth of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(3): 118–120